

Pasoš za renoviranje zgrada u cilju dostizanja nulte emisije gasova do 2050. godine – studija slučaja višeporodične stambene zgrade u Srbiji

1. Zorana Petojević

Katedra za upravljanje projektima u građevinarstvu, Institute for Building Technology and Process (IBP)
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, ZHAW Zurich University of Applied Science, School of Architecture, Design and Civil Engineering
Beograd, Srbija, Winterthur, Switzerland
petz@zhaw.ch, ORCID ID
(<https://orcid.org/0000-0001-9555-5989>)

2. Olga Obradović

Katedra za upravljanje projektima u građevinarstvu
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet
Beograd, Srbija
olgao2000@gmail.com

3. Nevena Simić

Katedra za upravljanje projektima u građevinarstvu
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet
Beograd, Srbija
nsimic@grf.bg.ac.rs, ORCID ID
(<https://orcid.org/0000-0003-3391-3204>)

4. Bojana Zeković

Departman za arhitektonske tehnologije
Katedra
Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet
Beograd, Srbija
bojana@arh.bg.ac.rs, ORCID ID
(<https://orcid.org/0000-0002-6445-3047>)

5. Radovan Gospavić

Katedra za matematiku, fiziku i nacrtu geometriju
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet
Beograd, Srbija
gospavic@grf.bg.ac.rs, ORCID ID
(<https://orcid.org/0000-0002-4336-1813>)

6. Goran Todorović

Katedra za matematiku, fiziku i nacrtu geometriju
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet
Beograd, Srbija
todor@grf.bg.ac.rs, ORCID ID
(<https://orcid.org/0000-0002-1195-4761>)

Abstract—Transformacija fonda zgrada ka nultoj emisiji gasova do 2050. godine jedan je od ključnih ciljeva Evropskog zelenog dogovora i nove EPBD direktive. Zgrade, kao najveći potrošači energije, zahtevaju sistemsku i dubinsku obnovu. Pasoš za renoviranje zgrada (Building Renovation Passport – BRP) uveden je kao alat koji omogućava fazni i strateški pristup unapređenju energetske efikasnosti i dekarbonizaciji izgrađenog okruženja. Ovaj rad prikazuje metodologiju razvoja BRP-a kroz studiju slučaja tipične višeporodične stambene zgrade iz 1980-ih u urbanom delu Srbije. Renoviranje je podeljeno u tri faze: poboljšanje omotača zgrade, optimizacija tehničkih sistema i integracija obnovljivih izvora energije. Kroz analizu troškova, koristi i prepreka, rad pokazuje kako BRP može doprineti postepenoj i održivoj obnovi, omogućavajući vlasnicima dugoročno planiranje i informisano donošenje odluka u pravcu zgrada bez emisija.

Ključne reči— Pasoš za renoviranje zgrada, Višeporodične stambene zgrade, Unapređenje energetske efikasnosti, Dekarbonizaciji izgrađenog okruženja, Nulte emisije gasova do 2050.

I. UVOD

Građevinski sektor predstavlja jedan od najvećih izvora emisije ugljen-dioksida (CO₂), sa značajnim udelom u potrošnji energije u Evropskoj uniji [1]. Poseban izazov predstavlja činjenica da je većina postojećih zgrada izgrađena pre 2000. godine i da se odlikuju niskim nivoom energetske efikasnosti [1]. U cilju smanjenja emisija i dostizanja klimatske neutralnosti do 2050. godine, Evropska unija je kroz niz strateških dokumenata, uključujući revidiranu Direktivu o energetskim karakteristikama

zgrada (EPBD) [2], definisala ambiciozne ciljeve i alate – među kojima se posebno izdvaja Pasoš za renoviranje zgrada. Pasoš za renoviranje predstavlja personalizovani plan renoviranja objekta u više koraka, koji sadrži tehničke preporuke, vremenske rokove, procene troškova, dostupne izvore finansiranja i očekivane uštede energije. Ovaj alat ima za cilj da vlasnicima olakša planiranje i sprovođenje energetske sanacije zgrada u skladu sa ciljevima smanjenja emisije gasova sa efektom staklene bašte. Republika Srbija, kao članica Energetske zajednice i potpisnica Zelene agende za Zapadni Balkan, obavezala se da uskladi svoje politike sa evropskim klimatskim ciljevima. Nacionalna Strategija za renoviranje zgrada [3] predviđa smanjenje emisije CO₂ za 31% i potrošnje primarne energije za 38% do 2050. godine, uz progresivno povećanje stope renoviranja zgrada.

Cilj ovog rada je da razvije okvir za izradu pasoša za renoviranje i analizira primenu njihovog koncepta u kontekstu višeporodične stambene zgrade u Srbiji, tipa E3 prema nacionalnoj tipologiji [4]. Kroz tri faze intervencija planirane za 2030, 2040. i 2050. godinu, objekat će proći kroz niz tehničkih i tehnoloških unapređenja sa krajnjim ciljem dostizanja nulte emisije gasova. Primena različitih mera, uključujući poboljšanje termičkog omotača, i primenu obnovljivih izvora energije, biće analizirana sa ekološkog i finansijskog aspekta.

U cilju boljeg razumevanja funkcionalnosti i potencijala ovog alata, u nastavku se daje pregled do sada razvijenih okvira za pasoše za renoviranje u okviru Evropske unije, kao i uvida iz relevantne literature.

II. PREGLED RAZVIJENIH OKVIRA ZA PASOSE ZA RENOVIRANJE I SAVREMENE LITERATURE

Pasoš za renoviranje zgrada (Building Renovation Passport – BRP) predstavlja alat koji vlasnicima objekata omogućava planiranje dugoročne i fazne energetske obnove. Sastoji se iz dva osnovna dela: Mape puta za renoviranje (Renovation Roadmap), koja definiše korake obnove u periodu od 15 do 30 godina, i Dnevnika zgrade (Building Logbook), koji beleži tehničke podatke, potrošnju energije i istoriju radova [5]. Izrada BRP-a započinje prikupljanjem podataka na nivou pojedinačne zgrade, kroz energetske pregled i dodatne tehničke informacije koje se dopunjuju automatizovano ili od strane korisnika. Na osnovu prikupljenih informacija, uz pomoć specijalizovanih softverskih alata izrađuje se plan sprovođenja mera obnove u etapama. BRP pruža korisnicima jasnu viziju dugoročnog unapređenja energetske efikasnosti, smanjuje rizik od neusaglašenih radova i dodatnih troškova, doprinosi boljem komforu i zdravlju korisnika i omogućava donošenje informisanih odluka o investicijama [6]. Ujedno, predstavlja instrument za smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte i postizanje nacionalnih klimatskih ciljeva. U Evropskoj uniji BRP je prepoznat kao ključni alat za podsticanje dubinskih i faznih renovacija, naročito u skladu sa izmenama Direktive o energetskim karakteristikama zgrada (EPBD Recast 2021 [2]). Pilot-projekti u Belgiji (iBRoad), Francuskoj i Nemačkoj [7] pokazali su njegovu praktičnu vrednost. Okviri razvijenih BRP-a u ovim zemljama uključuju osnovne podatke o zgradi, kao što su lokacija, tip, godina izgradnje, korišćeni materijali i tehnički sistemi. Sadrže podatke o energetskoj efikasnosti, potrošnji energije, emisijama CO₂ i energetskoj klasi, kao i istoriju ranijih renovacija. Planirane mere renovacije predstavljene su kroz fazne scenarije, sa prikazom procenjenih troškova, ušteda energije i povrata investicije. Dodatno, uključuju pokazatelje cirkularnosti i održivosti, kao što su Global Warming Potential - GWP i Smart Readiness Indicator - SRI, kao i podatke o dostupnim finansijskim mehanizmima, uključujući subvencije i poreske olakšice.

Model iz Nemačke, poznat kao iSFP (Individueller Sanierungsfahrplan), temelji se na personalizovanom pristupu i direktnom dijalogu između auditora i vlasnika objekta, uz upotrebu softverskih alata za simulaciju scenarija obnove. Belgijski model Woningpas razvijen u okviru Renovation Pact-a u Flandriji funkcioniše kao digitalni pasoš zgrade koji sadrži podatke o istoriji radova, sertifikatima i preporukama za obnovu u skladu sa unapred definisanim scenarijima, uz fokus na komfor, estetiku i emisije. Francuski model P2E (Passeport Efficacité Énergétique) baziran je na veb platformi koja omogućava interakciju između vlasnika, auditora i izvođača radova, putem paketnih kombinacija mera usmerenih ka postizanju standarda niskoenergetskih zgrada.

Literatura identifikuje niz izazova i koristi u vezi sa implementacijom BRP-a. U radu [8] predložena je metodologija za izradu BRP-a korišćenjem kombinatorne optimizacije i linearnog programiranja, sa ciljem da se definiše optimalni niz intervencija i njihovo vremensko raspoređivanje u skladu sa finansijskim kapacitetima korisnika i uticajem na smanjenje energetskog siromaštva. Ovaj pristup omogućava da BRP ne bude samo tehnički dokument, već i alat za socio-ekonomsko

planiranje u ranjivim grupama. Takođe, inicijative poput iBRoad i ALDREN projekta ukazuju na značaj digitalizacije procesa obnove, harmonizacije sertifikacije i uključivanja pokazatelja kao što su kvalitet unutrašnjeg prostora, zdravlje, komfor i cirkularnost materijala [9]. U literaturi se posebno ističe potreba za integracijom BRP-a sa drugim alatima – digitalnim logbook-om, EPC-om (Energy Performance Certificate), BIM-om (Building Information Model) i SRI-om – kako bi se obezbedila interoperabilnost i efikasna razmena podataka među akterima obnove [10].

Iako se modeli razlikuju u tehničkoj strukturi i nivou digitalizacije, svi imaju zajednički cilj – olakšavanje dubinske obnove zgrada kroz informisanje korisnika, fazno strukturisanje procesa i doprinos ostvarivanju klimatskih i energetske ciljeva. Ovi modeli predstavljaju značajnu osnovu za razvoj nacionalnih pristupa, uključujući i kontekst Republike Srbije.

III. NACIONALNI OKVIR ZA UNAPREĐENJE ENERGETSKIH KARAKTERISTIKA ZGRADA I TIPOLOGIJA STAMBENIH OBJEKATA U SRBIJI

U cilju poboljšanja energetske efikasnosti i ispunjavanja evropskih klimatskih ciljeva, Republika Srbija je definisala niz strateških dokumenata i mera koje se odnose na sektor zgrada, koji je jedan od najvećih potrošača energije. Prema podacima iz Dugoročne strategije za podsticanje ulaganja u obnovu nacionalnog fonda zgrada Republike Srbije do 2050. godine (Službeni glasnik RS, 2022) [3], fond zgrada u Srbiji obuhvata više od 2,3 miliona objekata ukupne površine preko 409 miliona m². Dominantni energenti koji se koriste za grejanje su drvo (više od 66%), električna energija i gas, što ukazuje na veliki potencijal za unapređenje energetske efikasnosti, kako kroz zamenu energenata, tako i kroz poboljšanje arhitektonsko-građevinskih karakteristika zgrada.

Strategija prepoznaje povezanost energetske efikasnosti zgrada sa periodom izgradnje i primenjenim tehnologijama, zbog čega se koristi modeliranje kroz tipologiju zgrada. Nacionalna tipologija stambenih zgrada Srbije, izrađena 2013. godine [4], daje okvirne proračune potrebne energije za grejanje za različite tipove objekata i definiše osnovu za oblikovanje paketa mera i scenarija renoviranja. Strategija definiše više scenarija obnove, a kao strateški cilj usvojen je Scenario 4. On podrazumeva renoviranje javnih zgrada do nivoa nZEB (*nearly Zero-Energy Building* – zgrada sa gotovo nultom potrošnjom energije), višeporodičnih zgrada do nivoa energetske efikasnosti EE+ (*energetska efikasnost plus* – unapređeni nivo uštede u odnosu na osnovni standard), komercijalnih zgrada do TO nivoa (*troškovno optimalan* – nivo poboljšanja kojisagledava troškove), i izgradnju svih novih zgrada po nZEB standardima. Nacionalni zakonodavni okvir uključuje [Zakon o planiranju i izgradnji](#), [Zakon o energetskoj efikasnosti i racionalnoj upotrebi energije](#) (ZEERUE) i odgovarajuće pravilnike [11], [12], koji uvode sistem energetskog sertifikovanja i klasifikacije zgrada u energetske razrede od A+ do G. U planu je usklađivanje postojeće regulative sa aktuelnim zahtevima regulative EU, pre svega kroz izmene EPBD direktive, u pogledu uključivanja svih oblika energije u proračun i sertifikaciju, kao i preciznijeg definisanja nZEB zgrada. Pravilnici koji detaljnije uređuju procedure energetskog pregleda, kontrolu energetskih sertifikata

i tehničke dokumentacije za projekte energetske efikasnosti takođe su u pripremi.¹

U okviru nacionalne tipologije, poseban značaj ima tip višeporodičnih stambenih zgrada E3, izgrađenih između 1961. i 1980. godine. Ovaj tip je masovno zastupljen u urbanim sredinama širom Srbije, naročito u blokovskoj izgradnji iz kasnog socijalističkog perioda. E3 zgrade karakterišu kompaktna forma, masivni zidovi bez termoizolacije, dvostruka drvena stolarija i neefikasni sistemi grejanja. Prema podacima iz projekta [TABULA](#), tip E3 čini više od 20% stambenih objekata iz pomenutog perioda. Zbog loših termo-tehničkih karakteristika, ove zgrade beleže specifičnu potrošnju energije za grejanje u rasponu od 140 do 180 kWh/m² godišnje, što ih svrstava u prioritetne za dubinsku energetska obnovu.

Renoviranje ovih zgrada ima potencijal da značajno doprinese smanjenju ukupne emisije gasova sa efektom staklene bašte na nacionalnom nivou. Preporučene mere uključuju unapređenje termičkog omotača objekta, kroz izolaciju fasada i krovova, zamenu prozora i vrata, modernizaciju sistema grejanja, kao i integraciju obnovljivih izvora energije. Ove intervencije treba organizovati kroz fazne scenarije kako bi se omogućilo tehnički izvedivo i finansijski održivo renoviranje u skladu sa strateškim ciljevima Republike Srbije.

IV. STUDIJA SLUČAJA: IZRADA PASOSA ZA OBJEKAT TIPA E3

A. Karakteristike E3 zgrade

Oblikovne i tehničke karakteristike zgrada ovog tipa uključuju kompaktnu formu i masivnu konstrukciju. Spratnost zgrada je do P+3, sa podrumskim i tavanskim prostorima koji se ne koriste za boravak, i stambenim prizemljem. Krovovi su najčešće plitki kosi ili neprohodni ravni. Masivni fasadni zidovi najčešće su građeni od opeke ili opekarskih šupljih blokova, sa fasadama od fasadnog maltera ili fasadne opeke, bez termoizolacionog sloja u svom sastavu. Međuspratne konstrukcije su najčešće polumontažne, sa ispunom od šupljih blokova, ili armiranobetonske. U delovima prema negrejanim prostorima (podrum, tavan) nemaju ugrađene termoizolacione slojeve. Prozori su drveni, dvostruki, sa spojenim ili razmaknutim krilima, standardnih dimenzija i inicijalno opremljeni samo unutrašnjom platnenom roletnom.²

B. Predlog kriterijuma i mera za unapređenje

Odabir mera za unapređenje energetske karakteristika zgrada vršen je na osnovu definisanog skupa relevantnih kriterijuma koji obuhvataju tri ključna aspekta: ekološki, finansijski i tehnički. Ekološki kriterijumi uključuju smanjenje potrošnje energije i emisije CO₂, upotrebu recikliranih materijala, reciklabilnost, kao i uštedu energije tokom eksploatacije. Finansijski kriterijumi odnose se na minimalna ulaganja, troškove eksploatacije i održavanja, te period povraćaja investicije. Tehnički aspekti obuhvataju zahtevnost izvođenja mera i potrebne kapacitete za njihovu realizaciju. Na osnovu ovih kriterijuma obavljena je kvalitativna evaluacija predloženih mera. Rezultati ove evaluacije nisu prikazani u ovom radu, već

su predstavljene konačno usvojene mere koje su se pokazale najefikasnijim i najodrživijim.

Usvojene mere su podeljene u tri faze, prateći princip postepenog ulaganja i tehničke izvodljivosti (TABELA I). U prvoj fazi (2030), primenjuju se pretežno građevinske mere kao što su termoizolacija fasade i podova, zamena prozora i vrata, kao i tehnička mera postavljanje termostatskih ventila na radijatore. Druga faza (2040) obuhvata kombinaciju građevinskih i tehničko-tehnoloških mera, uključujući ugradnju solarnih panela, senila na prozore i izolaciju cevi, čime se postiže značajno smanjenje toplotnih gubitaka. Treća faza (2050) fokusira se na primenu naprednih tehnologija, kao što su geotermalni kolektori, čime se omogućava korišćenje obnovljivih izvora energije i ostvarenje nulte emisije štetnih gasova. Ovakav sekvencioniran pristup omogućava efikasno planiranje investicija i postizanje ciljeva nacionalne energetske politike.

TABELA I. SPISAK PREDLOŽENIH MERA PO FAZAMA

I – Građevinske mere

Ugradnja termoizolacije u fasadne zidove u sloju 20cm (Reciklirani EPS)
Ugradnja termoizolacije u međuspratne konstrukcije ka tavanu i podrumu u sloju 20cm (Reciklirani EPS)
Zamena drvene postojeće spoljašnje stolarije sa jednoslojnim staklom za PVC stolariju sa upotrebom reciklirane plastike sa dvoslojnim staklom.
Ugradnja termostatskih ventila na radijatore

II – Kombinacija građevinskih i tehničko-tehnoloških mera

Ugradnja spoljašnjih sistema senila
Izolacija cevi za toplu vodu i zamena rezervoara
Ugradnja solarnog sistema za pripremu tople vode i dobijanje energije za klimatizaciju snage od oko 11kW

III – Tehničko-tehnološke mere

Ugradnja geotermalnih kolektora

Za analizu energetske performansi zgrade korišćen je softver [URSA – Građevinska fizika 2](#), koji predstavlja domaći alat usklađen sa metodologijom propisanom u Pravilniku o energetske efikasnosti zgrada (Službeni glasnik RS br. 61/2011, 24/2016 i 49/2018) [11], kao i relevantnim domaćim i evropskim standardima. Proračun toplotnih gubitaka transmisijom i ventilacijom vrši se prema pravilima definisanim tim pravilnikom, uz primenu referentnih vrednosti i uslova specifičnih za klimatske zone u Srbiji. Potrebna energija za grejanje zgrade izražena kao QH,an određuje se na osnovu koncepta stepeni dana grejanja (Heating Degree Days – HDD), koji omogućava tačno modelovanje energetske potrošnje tokom grejne sezone, uzimajući u obzir razliku između spoljne temperature i referentne unutrašnje temperature. Proračun toplotne provodljivosti i ukupne termičke otpornosti konstrukcija sprovodi se u skladu sa važećim standardima kao što su SRPS EN ISO 6946 (za slojeve konstrukcije), EN ISO 13790 (za proračun energetske potrebe za grejanje) i EN ISO 13789 (za prenos toplote kroz zgradu). Ova metodologija osigurava pouzdanost i usklađenost rezultata sa zvaničnim zahtevima u oblasti energetske efikasnosti u građevinarstvu. Na osnovu rezultata dobijenih iz URSA softvera, utvrđeni su ključni pokazatelji kao što su specifična godišnja potrebna energija za grejanje (QH,an), transmisioni toplotni gubici (HT), kao i

¹ <https://euinfo.rs/plac3/vesti/poglavlje-15-energetski-pregled-za-sertifikaciju-performansi-zgrada/>

² <https://episcopes.eu/iee-project/tabula/>

energetski razred zgrade, što je dalje poslužilo kao osnova za izradu pasoša za renoviranje.

Proračun investicionih troškova zasniva se na trenutnim tržišnim cenama materijala i radova dostupnim u Srbiji, pri čemu su uključeni troškovi nabavke materijala i izvođenja građevinskih i instalaterskih radova. Za ocenu ekonomske isplativosti mera korišćen je prost povratni period (Simple Payback Period - SPP), koji predstavlja odnos između ukupne investicije i godišnjih ušteda u troškovima za energiju. Važno je napomenuti da ova procena ne obuhvata dinamiku promena cena resursa tokom vremena, uključujući inflaciju, rast cena energenata, promene troškova rada, amortizaciju i diskontovanje. Zbog toga predstavljeni rezultati imaju orijentacioni karakter i služe kao osnova za donošenje odluka u postojećem tržišnom i regulatornom okviru, a ne kao precizna dugoročna finansijska analiza.

C. Prikaz rezultata energetske analize

U ovom poglavlju predstavljeni su kvantitativni pokazatelji energetske efikasnosti postojećeg objekta i projektovani efekti sprovedenih mera renoviranja kroz tri faze – do 2030, 2040. i 2050. godine. Analiza je izvršena na osnovu podataka o fizičko-tehničkim karakteristikama zgrade (površina omotača, grejana zapremina, faktor oblika, koeficijenti toplotnih gubitaka transmisijom i ventilacijom), TABELA II.

TABELA II. FIZIČKO-TEHNIČKE KARAKTERISTIKE ZGRADE

Karakteristike zgrade	
Površina omotača zgrade A:	1.314,26 m ²
Grejana zapremina zgrade V _g :	3.124,56 m ³
Korisna površina zgrade A _f :	958,65 m ²
Faktor oblika zgrade f _o :	0,42
Udeo transparentnih površina u površini omotača zgrade:	4,38 %
Koeficijent toplotnog gubitka kroz omotač zgrade L ^p (W/K):	1.661,77
Koeficijent toplotnog gubitka kroz tlo L ^s (W/K):	86,67
Koeficijent transmisijonog gubitka toplote H _T = L ^p + L ^s (W/K):	1.748,44
Koeficijent ventilacionog gubitka toplote H _v (W/K):	397,02
Ukupni koeficijent toplotnog gubitka H = H _T + H _v (W/K):	2.145,47
Faktor redukcije u zagrevanju Q _{h,red} :	1,000

TABELA III. ENERGETSKE POKAZATELJI ZGRADE PO FAZAMA

Energetski pokazatelji	Trenutno 2024	Korak 1 - 2030	Korak 2 - 2040	Korak 3 - 2050
Specifični transmisijoni toplotni gubitak H _T (W/m ² K) (dovoljeno: 0,60):	1,33	0,30	0,30	0,30
Godišnja potrebna energija za grejanje Q _{H,nd} (kWh/a):	108.811,97	30.885,22	30.885,22	30.885,22
Godišnja redukovana potrebna energija za grejanje Q _{H,nd,red} (kWh/a):	108.811,97	30.885,22	30.885,22	30.885,22
Specifična godišnja potrebna energija za grejanje Q _{H,an} (kWh/m ² a):	113,51	32,22	32,22	32,22
Godišnja emisija CO ₂ od godišnje potrebne energije za grejanje (kg/a):	35.907,95	10.192,12	10.192,12	0
Ukupni zapreminski gubitak toplote q _V (W/m ³):	0,69	0,25	0,25	0,25
Ukupna godišnja isporučena energija Edel (kWh/a):	156.058,49	55.212,47	55.212,47	0
Godišnja potrošnja primarne energije E _{prim} (kWh/a):	287.024,88	105.502,04	73.915,44	0

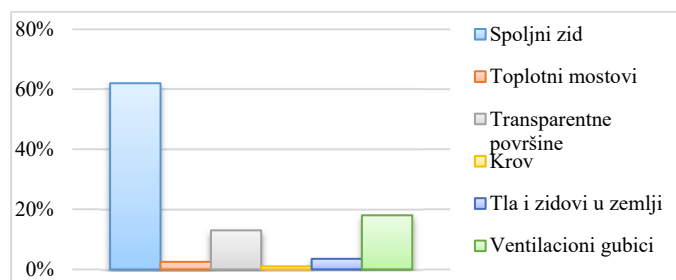
Energetski pokazatelji	Trenutno 2024	Korak 1 - 2030	Korak 2 - 2040	Korak 3 - 2050
Specifična godišnja potrošnja primarne energije E _{p,prim} (kWh/m ² a):	299,41	110,05	77,15	0
Godišnja emisija CO ₂ od primarne energije (kg/a):	95.560,46	35.657,93	28.291,09	0
Energetski razred zgrade:	E	B	B	B

^a Pomoćna energija za rad sistema se pokriva iz lokalnog OIE Sistema

TABELA III prikazuju ključne energetske pokazatelje po fazama: specifične transmisijone gubitke, potrebnu energiju za grejanje, emisije CO₂, ukupne isporučene i primarne energije, kao i odgovarajući energetski razred objekta.

Takođe je prikazan grafički prikaz (Sl. 1) toplotnih gubitaka po elementima omotača, pri čemu najveći udeo ima spoljni zid (preko 60%), dok ventilacioni gubici zauzimaju drugo mesto.

Sl. 1 Procentualno učešće toplotnih gubitaka kroz komponente zgrade



Ovi rezultati jasno identifikuju dominantne izvore energetske gubitke, što omogućava precizno usmeravanje intervencija i predstavlja osnovu za predlaganje sadržine pasoša za renoviranje i diskusiju o efikasnosti predloženih mera u sledećim poglavljima.

D. Predlog izgleda pasoša

Predlog izgleda Pasoša za renoviranje stambenog objekta strukturiran je tako da obuhvata sve ključne informacije potrebne za planiranje i praćenje energetske obnove objekta (Sl. 2).

Dokument započinje osnovnim podacima o objektu i ciljevima renovacije, a zatim sledi vizuelni prikaz objekta i njegove karakteristične termovizijske slike. U delu „Karakteristike“ predstavljeni su tehnički parametri zgrade, uključujući površinu omotača, zapreminu, korisnu površinu i energetski razred. Sledi istorija intervencija na objektu, zatim detaljan pregled postojećih elemenata zgrade sa U-vrednostima, uz grafički prikaz toplotnih gubitaka po komponentama. Najvažniji deo pasoša čini tabela sa etapnim planom renoviranja (2030, 2040, 2050), koja uključuje prikaz energetske razreda, opis predviđenih mera, ključne energetske pokazatelje, emisiju CO₂, troškove, povrat investicije, uštede i dostupne finansijske instrumente za svaki korak posebno. Ovakav format omogućava jasan pregled trenutnog stanja i planiranog puta ka postizanju nulte emisije gasova do 2050. godine.

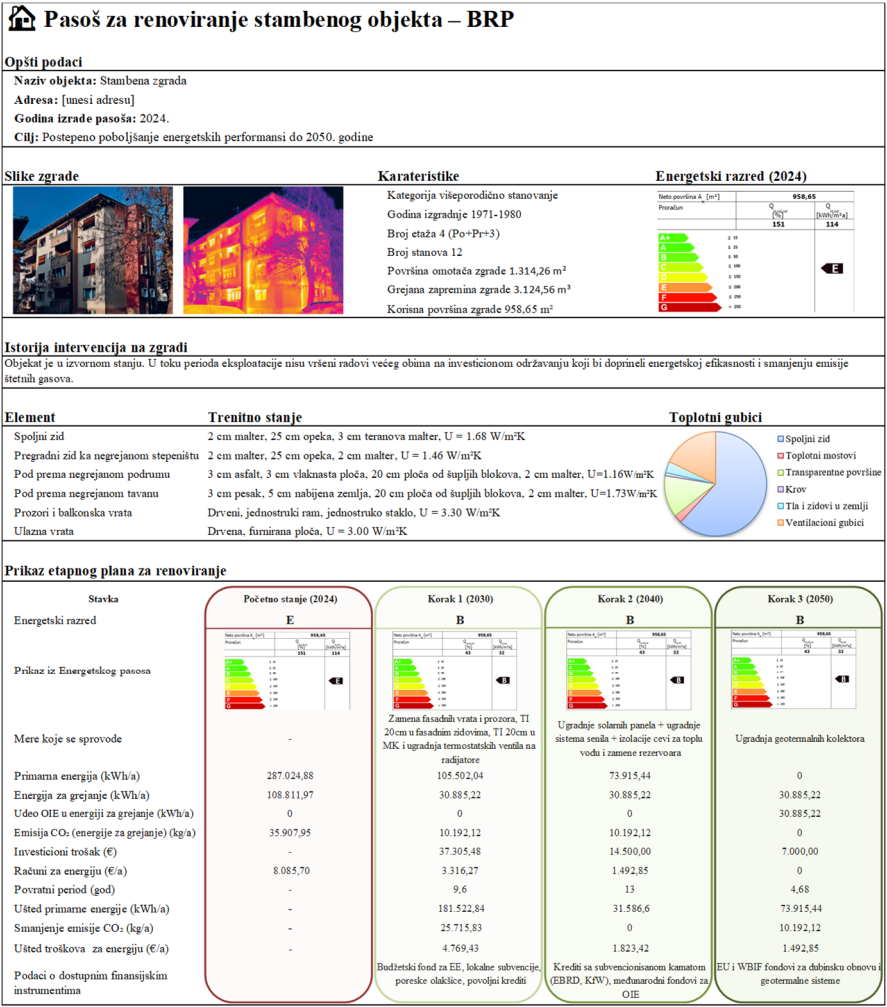
E. Diskusija rezultata

Analiza postojećeg stanja višeporodične stambene zgrade tipa E3, izgrađene između 1971. i 1980. godine, pokazuje nizak nivo energetske efikasnosti i značajne toplotne gubitke. Koeficijent ukupnog toplotnog gubitka iznosi 2.145,47 W/K, pri čemu transmisijoni gubici (1.748,44 W/K) predstavljaju

dominantan udeo, što potvrđuje i grafikon u kojem spoljni zidovi čine preko 60% ukupnih gubitaka. Faktori oblika zgrade ($f_o = 0,42$) i nizak udeo transparentnih površina (4,38%) ukazuju na kompaktnu formu zgrade, što sa stanovišta energetske efikasnosti predstavlja prednost, ali nije dovoljno da kompenzuje lošu termičku zaštitu omotača. U početnom stanju (2024),

specifični transmisioni toplotni gubitak $H'T$ značajno premašuje dozvoljenu vrednost ($1,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ naspram $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$), dok godišnja potrebna energija za grejanje iznosi $108.811,97 \text{ kWh}$, što daje specifičnu vrednost od čak $113,51 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Godišnja potrošnja primarne energije iznosi $287.024,88 \text{ kWh}$, sa emisijom CO_2 od $95.560,46 \text{ kg}$, što svrstava zgradu u energetski razred E.

Sl. 2 Pasoš za renoviranje za zgradu



Planirana obnova se realizuje u tri koraka. Već u prvom koraku (2030), nakon sprovedenih mera kao što su zamena prozora, izolacija fasade i podova, kao i ugradnje termostatskih ventila, dolazi do drastičnog smanjenja potrebne energije za grejanje – na $30.885,22 \text{ kWh}$ godišnje. Specifična potrošnja opada na $32,22 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, dok emisije CO_2 padaju na $10.192,12 \text{ kg}$. Energetski razred prelazi iz E u B, što potvrđuje značajan efekat osnovne energetske sanacije omotača zgrade. U drugom koraku (2040), instalacijom solarnog sistema i izolacijom cevne mreže, ne dolazi do daljeg smanjenja potrebne energije za grejanje (ostaje ista), ali se dodatno smanjuje potrošnja primarne energije i emisije CO_2 ($E_{\text{prim}} = 73.915,44 \text{ kWh}$; $\text{CO}_2 = 28.291,09 \text{ kg}$), uz zadržavanje energetskog razreda B. To ukazuje na efikasniju konverziju isporučene energije i povećanje učešća obnovljivih izvora. Treći korak (2050) uključuje ugradnju geotermalnog sistema, pri čemu se energetske potrebe pokrivaju

u potpunosti iz lokalnih obnovljivih izvora energije. Godišnja isporučena i primarna energija se svode na nulu, kao i emisije CO_2 , dok energetski razred ostaje B, s obzirom da domaća klasifikacija [12] ne prepoznaje promenu nivoa kada se samo uvide obnovljivi izvori energije, a ne menja potrebna energija za grejanje. Očekuje se da će buduće definicije nZEB i ZEB zgrada uključivati i uzimanje u obzir primarne energije i udela obnovljivih izvora pri njihovom utvrđivanju, čime ovako definisani koraci obnove dodatno dobijaju na značaju.

Finansijski pokazatelji dodatno potvrđuju opravdanost faznog pristupa renoviranju. Najveće inicijalne investicije se odnose na prvi korak ($37.305,48 \text{ €}$), ali upravo taj korak donosi i najveću godišnju uštedu na računima za energiju ($4.769,43 \text{ €}$) sa relativno kratkim povratnim periodom od 9,6 godina. Drugi i treći korak zahtevaju niže investicije (14.500 € i 7.000 €), sa

proporcionalno manjim godišnjim uštedama (1.823,42 € i 1.492,85 €). Povratni period za ugradnju solarnih kolektora je 13 godina zbog relativno niske cene struje dok je za geotermalne pumpe 4,68 godina. Ukupno, sve tri faze omogućavaju tehnički izvodljivo i ekonomski isplativo dostizanje nulte emisije do 2050. godine.

U cilju podsticanja energetske efikasnosti u sektoru zgrada, Republika Srbija je uspostavila različite finansijske instrumente koji uključuju budžetska sredstva, kreditne linije, poreske olakšice i programe podrške lokalnih samouprava. Kroz Budžetski fond za unapređenje energetske efikasnosti dodeljuju se bespovratna sredstva za sprovođenje mera kao što su zamena stolarije, termoizolacija i modernizacija sistema grejanja. Pored toga, dostupni su povoljni krediti uz podršku međunarodnih partnera (npr. [EBRD](#), [KfW](#), [WBIF](#)), a vlasnici objekata koji poboljšavaju energetske karakteristike zgrade mogu ostvariti i poreske olakšice. Ove mere su u skladu sa ciljevima Strategije za obnovu nacionalnog fonda zgrada do 2050. godine i predstavljaju osnovu za sprovođenje dubinske obnove. Za konkretnu višeporodičnu zgradu tipa E3, strategija preporučuje kombinaciju finansijskih izvora – nacionalna sredstva i lokalni programi za građevinske mere i zamenu stolarije u prvoj fazi, zatim povoljni krediti za zamenu sistema grejanja i integraciju solarnih panela u drugoj fazi, dok se za završni korak – ugradnju geotermalnih kolektora – preporučuje korišćenje međunarodnih izvora finansiranja, kao što su EU fondovi i [WBIF](#).

Ostvarene vrednosti jasno potvrđuju da je fazni pristup renoviranju efikasan za postizanje nulte emisije do 2050. godine. Već prvi korak donosi najveći efekat u pogledu energetske uštede i redukcije emisija, dok drugi i treći korak dodatno optimizuju energetske izvore i emisioni bilans. Ukupni efekti uključuju smanjenje primarne potrošnje za 100% i emisije CO₂ za 100% u odnosu na početno stanje, što pokazuje punu opravdanost primene koncepta pasoša za renoviranje.

V. ZAKLJUČAK

Sprovedena studija slučaja potvrđuje relevantnost i praktičnost koncepta pasoša za renoviranje u kontekstu višeporodičnih stambenih objekata u Srbiji. Korišćenjem nacionalne tipologije zgrada i primenom sekvencioniranih mera renoviranja, demonstrirano je da je moguće postići značajno smanjenje potrošnje energije, povećati energetski razred objekta i ostvariti nultu emisiju CO₂ do 2050. godine. Rezultati pokazuju da već u prvoj fazi renoviranja dolazi do prelaska u viši energetski razred, svaka sledeća faza donosi dodatne uštede primarne energije i unapređenje održivosti sistema grejanja, a završna faza omogućava potpun prelazak na obnovljive izvore energije uz kratki povrat investicije. Jedan od ključnih rezultata rada jeste i razvoj prototipskog pasoša za renoviranje u formi koja uključuje osnovne karakteristike zgrade, pregled istorije i planiranih intervencija, vizuelne i tabelarne prikaze energetskih pokazatelja po fazama, troškove, procene ušteda, kao i dostupne finansijske mehanizme. Njegova primena u Srbiji bi doprinela ubrzanju tempa dubinskih obnova, uz istovremeno osnaživanje vlasnika objekata kroz jasne smernice, troškovne procene i očekivane koristi. Dalja istraživanja treba da se fokusiraju na digitalizaciju i automatizaciju procesa izrade pasoša za renoviranje, integraciju sa GIS bazama i digitalnim blizancima.

LITERATURA

- [1] D. F. Birol, „World Energy Outlook 2022“.
- [2] „Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast) (Text with EEA relevance)“, 2024.
- [3] *Дугорочна стратегија за подстицање улагања у обнову националног фонда зграда Републике Србије до 2050. године*, Bd. „Службени гласник РС“, број 27 од 25. фебруара 2022.
- [4] M. Jovanović Popović, D. Ignjatović, L. Đukanović, M. Nedić, and B. Zeković, „Nacionalna tipologija stambenih zgrada Srbije građenih od 2013.“, Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu i GIZ - Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit, Beograd, 2016.
- [5] F. Mariangiola, G. Maarten de, and R. Oliver, *Building renovation passports: customised roadmaps towards deep renovation and better homes*, Second edition. Brussels: Buildings Performance Institute Europe (BPIE), 2016.
- [6] „Introducing Building Renovation Passports in Ireland“, Sustainable Energy Authority of Ireland, 2020.
- [7] „Building Renovation Passports: Consumer's Journey to a Better Home“, Buildings Performance Institute Europe.
- [8] F. Nicoletti, C. Carpino, G. Barbosa, A. Domenico, N. Arcuri, and M. Almeida, „Building renovation Passport: A new methodology for scheduling and addressing financial challenges for low-income households“, *Energy Build.*, Bd. 331, S. 115353, März 2025, doi: 10.1016/j.enbuild.2025.115353.
- [9] M. M. Sesana and G. Salvalai, „A review on Building Renovation Passport: Potentialities and barriers on current initiatives“, *Energy Build.*, Bd. 173, S. 195–205, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.05.027.
- [10] S.-A. Hwang, S. Çetin, H. Visscher, and A. Straub, „Advancing energy renovations through digitalisation: A critical review of EU policies and instruments“, *Energy Build.*, Bd. 336, S. 115627, Juni 2025, doi: 10.1016/j.enbuild.2025.115627.
- [11] *Pravilnik o energetskej efikasnosti zgrada*, Bd. „Sl. glasnik RS“, br. 61/2011.
- [12] *Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada*, Bd. „Sl. glasnik RS“, br. 69/2012, 44/2018-dr. zakon i 111/2022.

ABSTRACT

The transformation of the building stock toward net-zero greenhouse gas emissions by 2050 is a key objective of the European Green Deal and the revised Energy Performance of Buildings Directive (EPBD). As one of the largest energy consumers, the building sector requires deep and systematic renovation. The Building Renovation Passport (BRP) has been introduced as a tool to support phased, strategic planning for energy efficiency improvements and the decarbonization of the built environment. This paper presents a BRP development framework applied to a case study of a typical multi-family residential building from the 1980s in an urban area of Serbia. The renovation is structured in three phases: improving the building envelope, optimizing technical systems, and integrating renewable energy sources. Through cost-benefit analysis and assessment of barriers—including financial constraints and low user awareness—the study demonstrates how BRPs can support gradual, sustainable renovation, enabling owners to plan long-term investments toward achieving zero-emission buildings.

BUILDING RENOVATION PASSPORT FOR ACHIEVING NET-ZERO EMISSIONS BY 2050 – CASE STUDY OF A MULTI-FAMILY RESIDENTIAL BUILDING IN SERBIA

Zorana Petojević, Olga Obradović, Nevena Simić,
Bojana Zeković, Radovan Gospavić, Goran
Todorović